

電気自動車の走行ログを蓄積する DBの構築とEV消費電力推定手法

笛田 尚希[†] 萩本真太郎[†] 出口 達[†] 富井 尚志^{††}

[†] 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

^{††} 横浜国立大学大学院環境情報学研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: [†]{fueda-naoki-yd,hagimoto-shintaro-tw,deguchi-toru-mk,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし 電気自動車 (EV) は、エネルギー変換効率が高いうえに二酸化炭素を排出しないことから、地球環境を考慮した新しいモビリティとして注目されている。本研究では EV に搭載した GPS や加速度センサなどの簡易なセンサから得たデータを蓄積するデータベースの構築手法について述べる。加えて、そのデータを用いた EV の消費電力推定手法の提案を行う。運転者はデータベースに蓄積されたログから個人、場所、時間等様々な形で検索を行い、自己の運転を振り返ることが可能となる。一方、EV のバッテリーに蓄えられた電力を様々な場所へ還元するという V2X (Vehicle to X) の観点では、運転に支障が出ない範囲でどの程度電力還元が可能かをこのデータベースにより管理することができる。このデータベースの実現性の評価のために、実際にデータベースを構築し、自動車の走行ログを収集して評価実験を行った。

キーワード 電気自動車, センサデータベース, 消費電力推定, GPS, 加速度センサ, 走行ログ, V2X

Construction of Driving Log Database and Estimation Method of Energy Consumption for Electric Vehicles

Naoki FUEDA[†], Shintaro HAGIMOTO[†], Toru DEGUCHI[†], and Takashi TOMII^{††}

[†] Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

^{††} Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University
79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 Japan

E-mail: [†]{fueda-naoki-yd,hagimoto-shintaro-tw,deguchi-toru-mk,tommy}@ynu.ac.jp

Abstract EV (Electric Vehicle) is considered as a new environmentally-compatible mobility because of high energy conversion efficiency and Zero-CO₂ emissions. In this paper, we propose a design method of database in which accumulated data from GPS and accelerator sensor are stored. In addition, an estimation method of energy consumption for EV using that data is also proposed. Drivers are able to look back at own drivings by using the database searched by individuals, places or any conditions. In terms of V2X, a system in which EV communicate with the power grid, the buildings and houses to sell demand response services by either delivering electricity, we can manage electric energy by using this database. As for the result, we implemented prototype of the system, and also evaluated the effectiveness of it.

Key words Electric Vehicle, Sensor Database, Estimation of Electric Energy, GPS, Acceleration Sensor, Logs from Driving, V2X

1. はじめに

人類の技術革新によって温室効果ガスの排出量は増加し、地球温暖化が進行している。このことから世界各国で省エネルギーが叫ばれている。現在、日本におけるエネルギー消費量の

およそ 4 分の 1 が運輸部門から、またその中の 4 分の 3 が道路交通分野からであるため、道路交通分野から省エネルギーを行う必要がある [1]。

道路交通分野における省エネとして、まず個々のドライバーによる運転改善が必須である。しかし、現状のエネルギー消費

量把握手段は満タン法などの大雑把な手法か、瞬間燃費計などの細かすぎる手法であり、運転状況が個々に異なるドライバーにとって必ずしも有効な情報とはなっていない。また近年では高機能のカーナビゲーションシステムを用いることで、燃費を考慮したルート選択をすることが可能になった。しかし、ドライバーが実際に行ったアクションがどの程度燃費に影響を及ぼすものなのか、どの場所が燃費に影響を与えている場所なのか、という情報を定量的に把握することは難しい。熟練者はそれまでの経験からある程度の予測を付けることはできるかもしれないが、実際のデータとはギャップがあると考えられる。初心者にとってはそういった知識も無いため、具体的にどういった策を講じるべきなのかがわからない。熟練者の持っている知識に加え、情報を定量的な形で評価し、様々なドライバーがそれを共有できることが重要である。

また、近年では道路交通分野における省エネを実現する媒体として、電気自動車 (Electric Vehicle : EV) が注目を集めている。EV はこれまで主流であった内燃機関車に比べ、燃料コスト、二酸化炭素排出量が大幅に削減される。また、EV の大きな特徴の一つとしてバッテリーを搭載していることが挙げられる。このバッテリーに充電を行い、運転に使用しない余剰電力を他の場所、もしくは他の時間へと供給を行う V2X (Vehicle to X) への応用が期待されている。その一方で個々の EV のバッテリー容量は小さく、また寿命も長くはないため、現状では V2X は不安定であるという見方もある。V2X を安定的に実現するためには、ある程度のマスをもって安定的な供給を実現することが望まれる。つまり EV を電力の供給源とするためには 1 か所に多くの EV が集まって十分な電力を与えることが望ましい。例えば、通勤などの一定の使い方をしていない EV が事業所に数台～数十台程度集まり、各 EV が少しずつ事業所に電力を与えるというようなスタイルである。しかし、個々の EV は運転状況が異なるため、各 EV がどの程度運転で電力を必要とするのかがわからなければ、V2X としてどの程度電力提供が行えるのかということがわからない。通勤の場合、帰宅にどの程度電力を使うのかがわからないまま電力を取り出してしまえば、帰宅途中にバッテリー切れを起こしてしまう可能性も否定できない。したがって、帰りのエネルギー確保を考慮に入れた、提供可能電力量を推測するモデルが必要となる。

そこで本研究では、次のような手順でこれらの課題の解決を試みる。まず、EV に GPS や加速度センサなどの簡易なセンサを搭載し、走行ログを収集する [2]。収集したログを蓄積しておくセンサデータベースを構築し、データを蓄積していく。さらにそのデータを用いて EV の消費エネルギーの推定を行い、データベースへと蓄積する。このデータベースに蓄積された情報を用いることで、ドライバーは個人、場所、時間等様々な形で検索を行い、自己の運転を振り返ることが可能となる。またガソリン車に本システムを搭載した場合には、ガソリン車を EV に置き換えた場合の効果を推測することができる。V2X の観点では、運転に支障が出ない範囲でどの程度電力提供が可能かをひとつのデータベースにより管理することができる。事業所からの視点では、EV が多く集まってくる場合、どの程度の

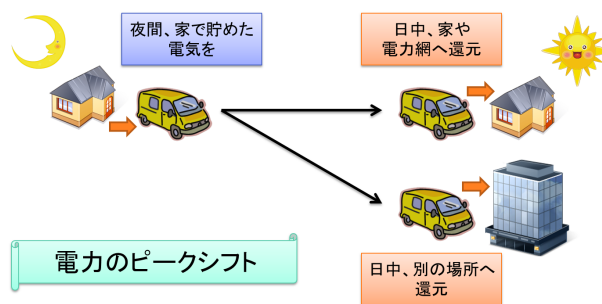


図 1 V2X イメージ図

電力が EV から供給可能かどうかを把握することが可能となる。

2. 研究背景

2.1 電気自動車と V2X

電気自動車 (Electric Vehicle : EV) はバッテリーを搭載し、モータで駆動する新たなモビリティである。例えば日産の電気自動車 LEAF は 24kWh の容量のバッテリーを搭載し、最大 200km の走行が可能とされる [3]。日常の通勤などの用途であれば、夜間に自宅で充電した電力を用いて、日中に通勤を行うことが可能である。

EV の大きな特徴として、走行時の自動車からの排気ガスが一切無いことが挙げられる。近年の地球温暖化への対策として二酸化炭素排出の無い電気自動車は注目されている技術の一つである。発電の為に排出される二酸化炭素量を考慮しても、電気自動車が排出する二酸化炭素量はガソリン車に比べ少なく済むことが知られている [4]。また、安価な夜間電力を用いて自宅で充電することによって、ガソリン車よりも燃料コストを低減できる。

EV の持つもう 1 つの大きな特徴として、バッテリーの存在がある。EV のバッテリーに充電した電力を、電力網 (Grid:V2G) や家 (Home:V2H)、ビル (Building:V2B) に提供する技術は V2X (Vehicle to X) と呼ばれ (図 1)、その実現に向けて様々な取り組みがなされている [5]~[7]。また、EV を用いることで、電力需要の低い夜間にバッテリーに充電した電力を、電力需要の高い昼間に用いるというピークシフトを行うことが可能となる。家庭用の蓄電池も販売されているが、充電した電力を別の時間帯だけでなく、別の場所へ運ぶこともできる EV への期待は高い。また、自動車は通常運転している時間よりも停車している時間の方が長いため、停車している自動車の新たな価値を創造するものであると考えられている。

しかし V2X を実現するためには様々な課題がある。例えば EV 自体のバッテリー容量が小さいこと、充放電を繰り返すことでバッテリーの寿命を縮めてしまうことなどが挙げられる。また、新技術ゆえの課金制度、充電設備等の社会的課題もあり、様々な観点からの課題解決が求められる。

2.2 センシング環境

近年の情報技術の発達により、計算機やネットワークの高速化、低価格化が進んでいる。さらに無線 IC タグや GPS、加速度センサのような実空間情報を取得することを目的としたセンサ類の発達により、ユビキタス環境の実現が現実味を帯びてき

ている。ユビキタス環境では環境内の様々な場所、モノにセンサを取り付けることで、ユーザの無意識下で様々な情報が取得可能となる。

本研究では GPS と加速度センサを車両に取り付け、走行データ取得を行うこととする。これらのセンサは既に車両に取り付けられており、カーナビゲーションシステムなどに用いられている。しかし、センサの出力値を運転者が取得することはできず、また保持しておくこともできない。よってこれらのセンサを運転者が後付けで取り付け、その値を取得することとする。また、近年では GPS や加速度センサが搭載されたスマートフォンが普及してきており、このスマートフォンを車内に設置するだけでデータの取得を行うことも可能となる [8]。

しかし、これらのセンサから得られるデータは単なる生のデータであり、それだけを見てもユーザはそれをどう用いるべきかということがわからない。また、そのデータを解析するためには全てのデータを一時的、あるいは恒久的に蓄積する必要があるが、データはセンサの量や時間に応じて増加していく。そのため、データを必要に応じて自在に検索することができなければ、せっかく蓄積したデータも無駄になってしまう [9]。

したがって、センサから収集したデータをユーザの知識や経験と合わせ、有効な情報となるよう解析を行う。そしてそれらを蓄積し、かつ有用な情報を素早く取り出すことが可能なデータベースを構築していくことが必須である。

3. 提案手法

EV はバッテリーを搭載していることから、人だけでなく電気エネルギーも運ぶモビリティである。その電気エネルギーによって V2X への応用が考えられるが、一台の EV から得られる電力量はとても小さい量でしかない。EV の電気エネルギーを有効に活用するには、EV が数台から数十台集まるような状況が望ましい。しかし、個々の EV は運転状況や走行距離が異なるため、個々の EV から取得可能な電力量をある程度把握しておく必要がある。またドライバーの観点では、無駄なエネルギー消費の少ない運転をすることが求められる。そのためには過去の自分の運転を振り返り、他者の運転と比較を行えることが望ましい。

そこで本研究では、自動車に搭載した GPS、加速度センサから自動車走行ログを収集を行う。そのログから消費エネルギーを推定し、データベースへ保持する。データベースに保持したデータは V2X やドライバーの運転振り返りのために、素早い集約検索が行えることが必要である。本章では、本研究におけるシステムの概要と消費エネルギー推定手法、データベースの設計について述べる。

3.1 ECOLOG

図 2 に本研究のシステム概要を示す。今回のモデルでは自動車に GPS と加速度センサを搭載し、走行ログを取得する。GPS や加速度センサから得られたログはデータベースに蓄積する。しかし、センサ毎に別々のテーブルに格納すると、後に検索する際にテーブルの結合がその都度行われるため、検索速度が低下し、ユーザビリティの低下に繋がる。

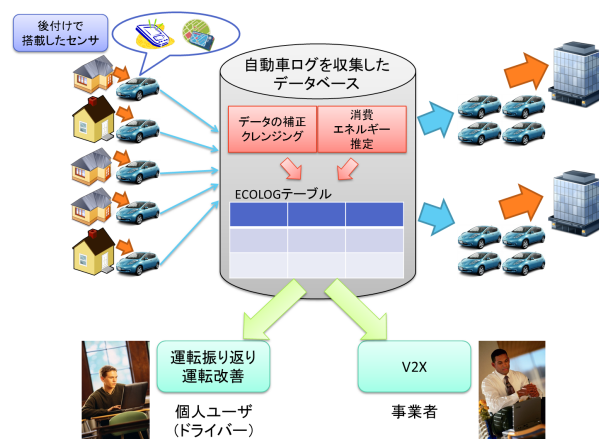


図 2 ECOLOG を中心としたシステム概要

そこで我々は次のような手法でこの問題の解決を試みる。まず、GPS や加速度センサから得たログに補正やクレンジング処理、正規化サンプリングレートへのリサンプルを行い、消費エネルギーの推定を行う。そして一台の自動車、一人のドライバーのある時間におけるデータ全てを一つのテーブルとするようなテーブルを構築する。自動車やドライバーに関しては ID を個別にふること、一つのテーブル内でも ID で区別できるようにする。我々はデータベースの中心となるこのテーブルを ECOLOG (Energy CONsumption LOG) テーブルと名付けた。この ECOLOG テーブルに選択、集約、演算処理をするだけで様々な情報を高速に検索することができる。

3.2 条件・課題設定

3.1 節の ECOLOG テーブルを効率的に作成するため、まず条件の設定を行う。

まず、使用する自動車は EV とする。EV の特徴として、アイドリング中のエネルギーロスがほぼ無いこと、多段のトランスミッションが無いことなどから、走行中のエネルギー消費状況のモデル化がガソリン車よりも容易であるということが挙げられる。また、ガソリン車にセンサを搭載してデータを取得した場合には、今使用しているガソリン車を電気自動車に置き換えた場合の効果の予測を行う事ができる。

今回は自動車の走行モデルとして、日々の「通勤」をターゲットとする。これは次のような 2 つの観点からである。

- 通勤は毎日行われ、かつほぼ同じルートを使用すると考えられるため、統計的な処理が可能となる。
- 勤務先で V2X による電力提供を行うことを考えることができる。

ここで、運転における出発地から目的地に到達するまでの行程をトリップと定義する。通勤においては自宅から勤務先までの往路で 1 つのトリップ、勤務先から自宅までの復路で 1 つのトリップとする。

データの流れを図 3 に示す。通勤を行う際に自動車に GPS と加速度センサを搭載し、走行ログを取得する。得られたログはデータベースに格納した後、補正やクレンジング処理を行う。その後、正規化サンプリングレートへリサンプルする。事前調査において、処理速度や情報量などを考慮した結果、正規

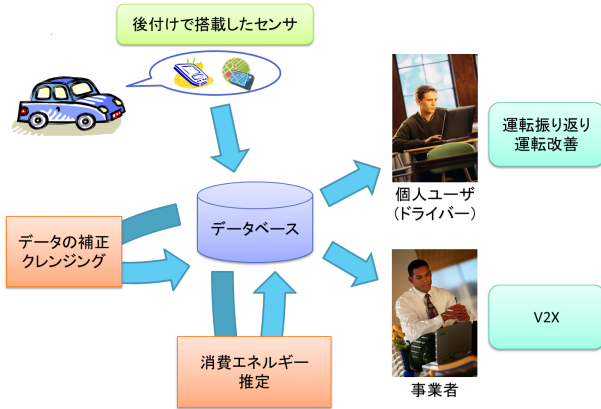


図3 データの流れ

化サンプリングレートは 1Hz が妥当であると判断した。また、V2X を行う事を考えた場合には EV がどの程度電力を消費したのかを調べる必要がある。これに関しては GPS と加速度センサから得られたログ、車両や道路に関しての外部データから推定を行う。推定した電力消費量のデータはデータベースの ECOLOG テーブルへ格納する。このように全てのデータを格納しておくことで、データを統計的に処理することができ、また過去のデータに対して、状況をキーとした検索ができるようになる。

以上のような条件設定をふまえた上で、本研究における課題を以下のように設定した。

- GPS や加速度センサによる安定したログ取得
- ログを蓄積し、素早い検索処理を行うデータベースの構築
- 走行ログを用いた消費電力推定手法
- ユーザの運転改善, V2X への応用

3.3 運動方程式に基づく消費電力推定モデル

自動車が走行する際にかかる力を図4に示す[10]。自動車には速度や大気の状態による空気抵抗 R_{AIR} 、路面やタイヤの状況による転がり抵抗 R_{ROLL} 、斜面の上り下りによる登坂抵抗 R_{SLOPE} 、加速による加速抵抗 R_{ACC} の4種類の抵抗がかかる。それらの総和につり合うようにしてモータが駆動力 $F_d[N]$ を出力している。これにより、運動方程式 (1) が導かれる。

$$\begin{aligned} F_d &= R_{AIR} + R_{ROLL} + R_{SLOPE} + R_{ACC} \\ &= \frac{1}{2}\rho C_d A v^2 + \mu M g \cos \theta + M g \sin \theta + M(a + g \sin \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) における各パラメータを表1に示す。ここで、自動車に GPS と加速度センサを取り付けることによって取得できるのはデータ取得時刻、データ取得時刻における緯度経度データ、3軸加速度データである。緯度経度データからは前後のデータとの組み合わせにより、速度、進行方向、1つ前のポイントとの距離を算出する。また、地図データ^(注1)と組み合わせることで高度を求める。また、 ρ と μ に関しては値の変動が小さいため、一定値として扱う。これらのデータに加え、使用した自動車の

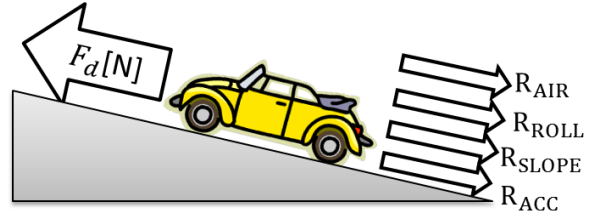


図4 自動車にかかる抵抗

表1 運動方程式のパラメータ

パラメータ	単位	意味	取得方法
ρ	kg/m^3	空気の密度	定数
C_d		空気抵抗係数 (CD 値)	カタログ値
A	m^2	自動車の正面面積	カタログ値
v	m/s	自動車の走行速度	GPS から算出
μ		転がり抵抗係数	定数
M	kg	車両総重量	カタログ値
g	m/s^2	重力加速度	定数
θ	rad	坂路勾配	地図データから
a	m/s^2	進行方向加速度	加速度センサから

データを用いることで全ての抵抗と出力 F_d を導出することができる。ここで、加速抵抗は本来 $R_{ACC} = Ma$ で表される。しかし、今回のモデルでは加速度センサを車内に固定しているため、図5のように斜面で運転する場合、重力による影響が出てしまう。そのため実際の加速度 A_x は $A_x = a + g \sin \theta$ となり、 $R_{ACC} = M(a + g \sin \theta)$ となる。

次にこの F_d から時刻 t における瞬間消費電力 $P_e(t)[W]$ 、および時刻 t_{start} から t_{end} までの1回のトリップによる消費電力量 $E_e[kWh]$ を推定する。モータの仕事率 $P_d(t)[W]$ は $P_d(t) = F_d(t) * v(t)$ と求めることができる。ここでモータが電気エネルギーを運動エネルギーへと変換することを考える。モータの電気エネルギー変換効率 η は、モータの回転速度 $[rpm]$ と出力トルク $[Nm]$ から決定されることがわかっている(図6)。また、EV は減速時に運動エネルギーの一部を電気エネルギーに変換して充電を行う、エネルギー回生技術が用いられている。回生の際のエネルギー変換効率は η と同等とする[11]。このことから P_e は次のように表せる。

- $P_d(t) \geq 0$ (力行) の時、 $P_e(t) \times \eta = P_d(t)$
- $P_d(t) < 0$ (回生) の時、 $P_e(t) = P_d(t) \times \eta$

以上のことから E_e は $E_e = c \int_{t_{start}}^{t_{end}} P_e(t) dt$ と求められる。ただし、 $c[Wh/J]$ は定数である。また、今回は 1Hz のサンプリングレートとしたため、次のような単純な加算で求めることができる。

$$E_e = c \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} P_e(t)$$

3.4 EV 走行時におけるエネルギー消費のモデル化

図7~9にEV走行時のエネルギー消費モデルを示す。それぞれの図において縦軸は仕事率、横軸は時間を示す。図7が平坦路、図8が上り坂、図9が下り坂のケースをそれぞれ表す。

図7~9の加速区間内では、進行方向に加速度 $a(>0)$ で等加

(注1)：国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを使用した。

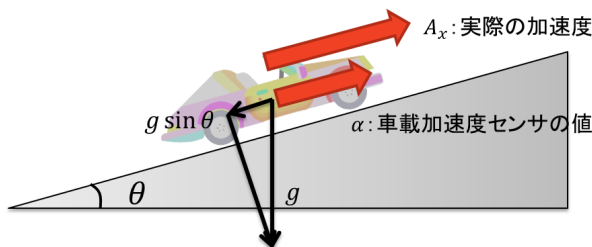


図 5 加速抵抗と加速度センサ

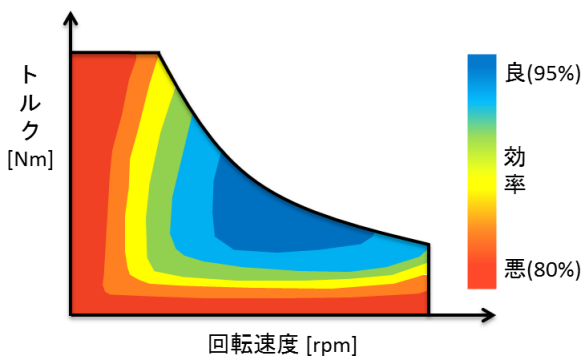


図 6 エネルギー変換特性

速度運動をしていると仮定する。つまり時間の経過と共に速度が上昇している状態となる。仕事率は力と速度の乗算で求められるため、黄色で示される空気抵抗、橙で示される転がり抵抗、緑で示される運動エネルギーとなる加速抵抗に対応する仕事率が速度の上昇と共に徐々に増加している。図 8 ではそれに加えて登坂抵抗の影響を受けるため、仕事率が増大し、逆に図 9 では減少する。また、電気エネルギーから運動エネルギーに変換が行われる際に発生する変換ロスが赤の部分である。

続いて、巡行区間ではそれまで行っていた加速をやめ ($a = 0$)、一定速度で走行を行う。この区間では加速を行わなくなるため、緑の運動エネルギーによる消費がなくなる。しかし、速度に依存する空気抵抗、タイヤを回転させて走行していれば必ず発生する転がり抵抗、および坂道の上下によって発生する登坂抵抗はこの区間でも自動車のエネルギーを消費させる。逆に下りでは位置エネルギーから運動エネルギーを得ることができるため、自動車のエネルギー消費は少ない。

最後に、減速区間ではブレーキをかけて ($a < 0$)、車を停止させる。ブレーキによる運動エネルギーの減少分は図の青の部分で示される回生エネルギーとしてバッテリーに充電される。しかし、その一部は空気抵抗や転がり抵抗、登坂抵抗として消費される。 a がある値を下回った場合、つまり過度にブレーキをかけた場合、回生ブレーキだけではスピードを落とすきれなくなる。その場合摩擦ブレーキも同時に作動するので、一部回生されないエネルギーが生じる。また、速度が一定値を下回ると、安全に車を停止させるために摩擦ブレーキへと切り替わるため、エネルギー回生が行われなくなる [11]。これらに関しては回生の限界を超えた部分として、図 7~9 では桃色の部分で示す。また、回生時には運動エネルギーを電気エネルギーへ変換するが、その際にも電気エネルギーから運動エネルギーへ変

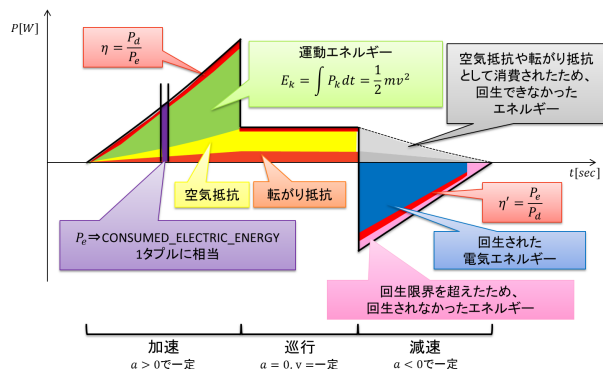


図 7 エネルギー消費モデル図 (平坦路のケース)

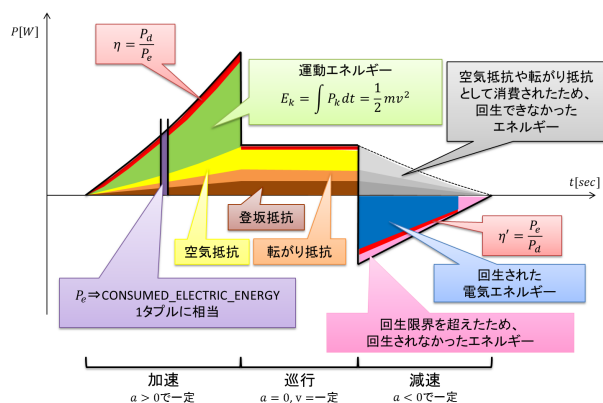


図 8 エネルギー消費モデル図 (上り坂のケース)

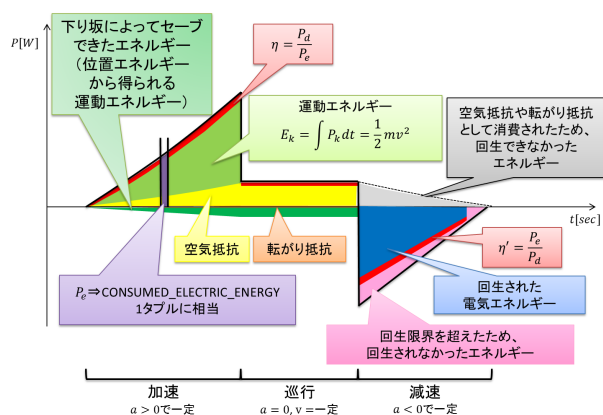


図 9 エネルギー消費モデル図 (下り坂のケース)

化する時と同等な変換ロスが発生する。

つまり EV を効率よく走行させるためには、消費するエネルギーの変換ロスを極力少なくすること、回生限界を超えないようにエネルギーの充電を行っていくことが重要である。

3.5 データベースの設計

3.3 節の (1) 式から、GPS や加速度センサのデータなどから EV の消費電力を推定することができる。本節ではその元となるデータ群や推定した値を保持しておくデータベースについて説明する。

データベーススキーマを図 10 に示す。図 10 における赤の部分が GPS や加速度センサから得られる生データを格納するテーブルであり、青の部分はそれらに補正やクレンジング処理を行ったデータを格納するテーブルとなっている。緑の部分は

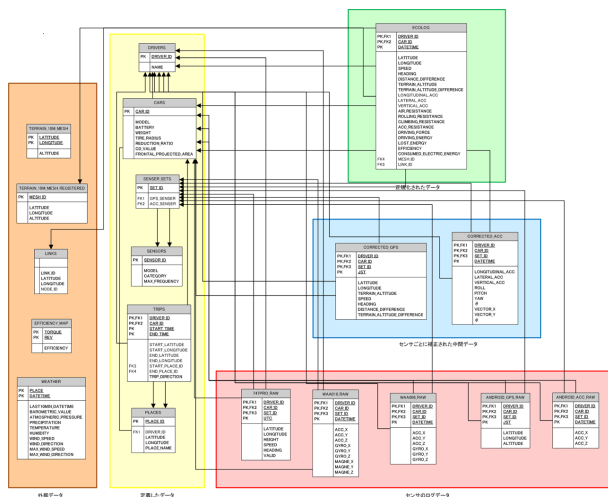


図 10 データベーススキーマ

正規化サンプリングレートにリサンプルした GPS や加速度センサの値、またそれらから推定を行った消費電力量を一つのテーブルとしてまとめた ECOLOG テーブル (図 11) である。これは 1Hz でリサンプルされたデータを蓄積しているの、消費電力量を単純な総和として算出することができる。黄色の部分には車両や運転者の情報などのデータ、橙の部分には道路情報や標高などの検索の集約単位として使用する外部データを保持するテーブルとした。

今回構築したこのデータベースでは、ECOLOG テーブルに対して選択、集約、演算処理をするだけで様々な情報を高速に検索することができるよう設計した。例えば、自分の運転軌跡上のデータを集計し、今回のエネルギー消費と今までの平均を比較することや、普段から多くエネルギーを消費する地点を検索することで運転の改善に繋がる。また、事業所に集まる電気自動車において、行きでの消費電力量や過去のデータからどの程度の電力が事業所で使用できるのかを概算することが可能となる。

これらの検索演算は全て SQL 文によって記述可能であり、かつ、データベース管理システムによる検索最適化が適用されるため、データが多くなった場合にもある程度の現実的な時間で検索可能である。

4. 実 験

以上の消費エネルギー推定手法とデータベースの実現性の検証のため、実際に被験車両に GPS と加速度センサを搭載し、走行データを取得した。取得したデータをもとに消費電力推定を行い、データベースに蓄積した。蓄積された情報から V2X を行った際にどの程度の効果が得られるのかの検証を行った。

4.1 搭載センサ

今回の実験では被験車両のダッシュボードに表 2, 3 に示されるセンサを図 12 のように設置した。これらのセンサはそれぞれ、内蔵フラッシュメモリにログを記録するように設定し、通勤中の走行ログを記録した。

4.2 実際の EV を用いた消費電力推定の精度実験

まず、3.3 節で推定した消費電力量がどの程度正しいのかを

ECOLOG	
PK,FK1 PK,FK2 PK	DRIVER_ID CAR_ID DATETIME
FK4 FK5	LATITUDE LONGITUDE SPEED HEADING DISTANCE_DIFFERENCE TERRAIN_ALTITUDE TERRAIN_ALTITUDE_DIFFERENCE LONGITUDINAL_ACC LATERAL_ACC VERTICAL_ACC AIR_RESISTANCE ROLLING_RESISTANCE CLIMBING_RESISTANCE ACC_RESISTANCE DRIVING_FORCE DRIVING_ENERGY LOST_ENERGY EFFICIENCY CONSUMED_ELECTRIC_ENERGY MESH_ID LINK_ID

図 11 ECOLOG テーブル

表 2 車載 GPS の詳細データ

機器名	Transsystem 社製 747Pro
位置精度	3.0m 2D-RMS
速度精度	0.1m/s
サンプリングレート	最大 5Hz
最大ログレコード数	25 万件

表 3 車載加速度センサの詳細データ

機器名	ATR-Promotions 社製小型無線 ハイブリッドセンサ (WAA-010)
加速度感度	± 2G
加速度分解能	4mG
サンプリングレート	最大 1000Hz
最大ログレコード数	約 7 千万件



(a) GPS



(b) 加速度センサ



(c) 実際の設置の様子

図 12 GPS, 加速度センサの設置

検証した。被験車両は日産の LEAF を用いた。日産の LEAF はカーナビの画面に図 13 のように瞬間消費電力量を表示することができる。その様子を車内に取り付けたカメラで動画撮影し、後に目視で数値を読み取り、その値と GPS や加速度データから推定した消費電力量との比較を行った。



図 13 リーフモニタ撮影の様子

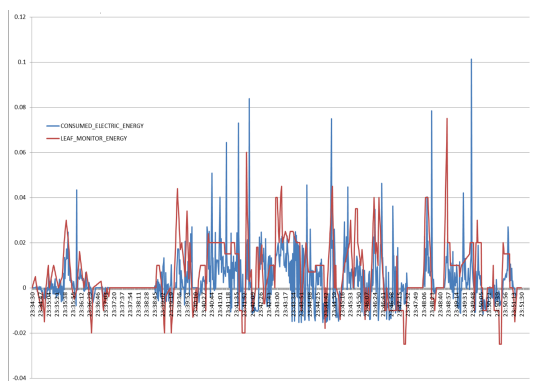


図 14 リーフモニタデータと推測値の比較

実験結果を図 14 に示す。図 14 における赤線がリーフのモニタから読み取った値を示し、青線が推測値を示す。推測値はセンサからの値なので多少のばらつきは見られるものの、おおよその形状は合致している。この結果から推測は有効であることがわかった。

4.3 データ取得実験

続いて、消費電力推定や V2X への効果検証のために長期的なデータ取得実験を行った。この実験では、被験車両は電気自動車ではなく、ガソリン車を使用した。2011 年 7 月 12 日～2012 年 2 月 26 日の期間で被験者 1 名、被験車両 1 台による通勤データ往路 106 件、復路 107 件が取得できた。

4.4 地図上への消費電力可視化

図 15 は、ある日のトリップにおける消費電力を地図上に表示したものである。図 15 の赤い線が今回のトリップのデータ、青い線が平均データ、緑色の線が平均に標準偏差を足し引きした値を示す。これを見ることにより、その日のトリップにおいて統計的に見て平均より多くの電力を使っているような場所や、毎日平均して多く電力を使っている場所などを直感的に把握することができる。

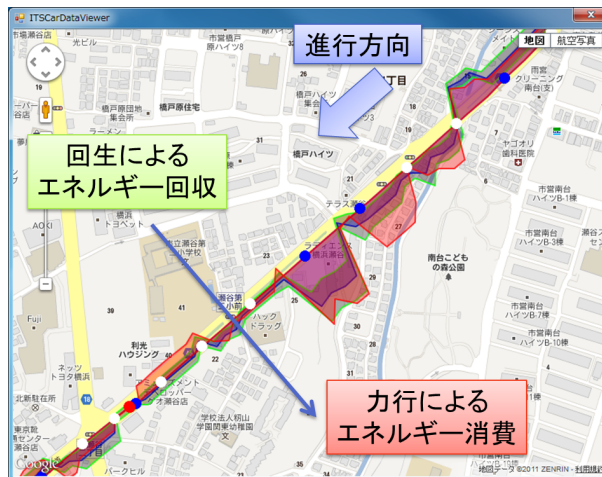


図 15 消費電力可視化

表 4 10 月の日別往復別消費電力量

単位: kWh	日	月	火	水	木	金	土
往路							
復路							
合計							
残高							
往路	2		4	5	6	7	8
復路							
合計							
残高							
往路	9	10	11	12	13	14	15
復路							
合計							
残高							
往路	16	17	18	19	20	21	22
復路							
合計							
残高							
往路	23	24	25	26	27	28	29
復路							
合計							
残高							
往路	30	31					
復路							
合計							
残高							

表 5 近傍 2 か月の平均、最大、最小消費電力量

単位: kWh	平均	標準偏差 σ	最小	E-σ	E+σ	最大
往路	4.1	1.1	0.7	1.5	5.2	7.1
復路	3.8	0.9	0.7	1.7	4.7	6.2
合計	7.9	1.3	0.5	4.9	9.2	11.7
残高	4.1	1.3	7.1	5.5	2.8	0.3

4.5 V2X 導入効果の検討

表 4 は 2011 年 10 月の消費電力量を日別、往復別に表したものの、表 5 は該当期間における使用電力量の平均、最大、最小を表したものである。ここでの残余とはバッテリー充電量を 12kWh (注2) とした場合の余剰電力量を表している。つまりこの値が V2X によって勤務先に提供可能な電力量と考えられる。この表から $4.1 \pm 1.3kWh$ が提供可能な電力と見込まれる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、EV に搭載した GPS や加速度センサなどの簡易なセンサから得たデータを蓄積するデータベースの構築手法と共に、そのデータを用いた EV の消費電力推定手法について述

(注2): 日産の LEAF は 24kWh のバッテリーを搭載している。出発前の充電量を 80% とし、通勤往復が終了した時点での残すべき最低残量を 30% とすると、1 日の往復トリップで使用可能な電力量は $80 - 30 = 50\%$ である。ここから、24kWh の 50% である 12kWh を 1 日で使用可能な電力量とした。

べた。実際の車両を用いてデータ収集を行い、消費電力量が直感的にわかるような表示形式、また V2X を行った際の効果の検証を行った。今後は車両のメンテナンスポートなどから取得したデータを用いたより詳細な精度検証、対象者や対象車両を増やした評価実験を行っていく。

謝辞 本研究の一部は公益財団法人日産財団研究助成による。また、横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究推進プログラム「消費側の関与を重視したエネルギー技術の評価」、および同研究院基軸プロジェクト「信頼と納得の情報学」の支援を受けた。

文 献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁エネルギー白書 2011, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011/>
- [2] 富井 尚志, 萩本 真太郎, 出口 達, 笛田 尚希, “ 電気自動車の日常ログを蓄積する V2G 指向データベースの設計 ”, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011.
- [3] 日産 LEAF Web カタログ, <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>
- [4] 堀 雅夫, 金田 武司, “ HEV, PHEV 導入によるエネルギー需給変化と CO2 削減の効果 ”, 自動車技術会論文集 Vol.40, No.4, pp.1101-1106, 2009.
- [5] W. Kempton, J. Tomic, “ Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue ”, Journal of Power Sources, Vol.144, Issue.1, pp.268-279, 2005.
- [6] W. Kempton, J. Tomic, “ Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy ”, Journal of Power Sources 144, pp.280-294, 2005.
- [7] S. Kamboj, W. Kempton, K. S. Decker, “ Deploying power grid-integrated electric vehicles as a multi-agent system, ” Proc. of the 10th Int'l Joint Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2011), pp.13-20, 2011.
- [8] 八木 浩一, “ スマートフォンの加速度センサを用いた路面段差検出方法 ”, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010.
- [9] 清水 隆司, 古賀 浩史, 富井 尚志, “ 大量の RFID データを扱う概念共有環境 CONSENT の運用による実用性の評価 ”, 日本データベース学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.41-46, 2009.
- [10] 樋口 健治 監修, 自動車工学編集委員会著, “ 自動車工学 ”, 東京電機大学出版局, 2008.
- [11] 廣田 幸嗣, 小笠原 悟司編著, 船渡 寛人, 三原 輝儀, 出口 欣高, 初田 匡之 著, “ 電気自動車工学 ”, 森北出版, 2010.